

令和元年5月17日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06906

研究課題名(和文) 海を走る航洋型プッシャー・バージシステムの性能開発と評価

研究課題名(英文) Evaluation and Development of Navigational Performance of Sea-Going Pusher and Barge System

研究代表者

佐野 将昭 (Sano, Masaaki)

広島大学・工学研究科・助教

研究者番号：40582763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：プッシャー・バージ(P/B)は、トラクタ・トレーラと同じく、動力を積んだプッシャーと荷台のバージを連結して走る輸送方式である。両者を切り離せる機構は、プッシャーの荷役待ちを省略できる一方、連結部の間隙では流れが乱れて大きな抵抗源となり得る。本研究では、バージに適切な船尾トリムを付ける事で、加えてバージの船尾形状を改良してより多くの伴流利得を享受させる事で、P/Bの抵抗性能を改善させ得る可能性を示した。またP/Bは積載貨物量に応じて連結部の段差が変化する特徴を持つ事から、異なる載荷状態により抵抗性能、自航性能、波浪中耐航性能を評価し、一般商船には見られない一連のユニークな載荷影響を明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

P/Bによる貨物輸送は、荷役頻度が多い短/中距離輸送の定期航路で効果を発揮し、多くの経営的メリットを見込める。モーダルシフトの受け皿として高い需要を見込めるが、これまで一般商船と比較して圧倒的に研究事例が少なかった。特に船体間隙が招く抵抗増加への対応、積載量に応じて変化する喫水差が航走性能に及ぼす影響の把握は、十分な検討が望まれる。そこで本研究ではそれらの課題に取り組み、航洋型P/Bの抵抗性能、自航性能、耐航性能について横断的な評価を行う事で、多くの興味深い知見を得た。航洋型P/Bの資料が希少な点を鑑みれば、本研究を通じて、今後の設計開発の参考となる貴重な研究データを取得できたと考える。

研究成果の概要(英文)：A pusher and barge system, i.e., P/B, is a unique transportation way. Because they can be divided into each part, the pusher does not need to wait for the completion of the cargo handling and it can depart for the next voyage with another barge. Such a system could bring about good transportation efficiency and economic benefits. However, since the gap at the connection disturbs the smooth flow, the resistance increase has been a severe concern. In this study, we tackled with this issue, and found a trim by stern of the barge was effective in reducing the total resistance of the P/B. As another trial, the stern shape of the barge was modified, expecting more wake gains received by the pusher, and the possibility to improve the resistance performance was investigated. We also revealed unique characteristics of self-propulsion and seakeeping performances, associating them with the barge load condition. It is assumed that they are valuable data useful for the design of sea-going P/B.

研究分野：船舶海洋工学(推進・運動性能分野)

キーワード：船舶工学 抵抗性能 自航性能 耐航性能 載荷影響 トリム影響 水槽試験 CFD計算

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

プッシャー・バージ（以下 P/B）と呼ばれる輸送方式は、元来、河川輸送で発達を遂げてきたが、機械式連結装置の採用により、本格的な内海・外洋航行へと活躍の場を広げてきた。P/B は、動力・操舵機構を搭載したプッシャーと呼ばれる小型船が、荷台に相当するバージを連結して押航するユニークな方式である。陸のトラクタ・トレーラと同じく両者は切り離せる事から、バージが荷役中であっても、プッシャーは次の輸送に取り組む事ができる。この特徴は、プッシャーの待機時間を無くす事で人件費の節約を可能とし、また少ないプッシャーで多くのバージを運用する事により、高価なプッシャーの建造費やメンテナンス費の節約が見込める。定期航路において計画的に P/B を配置・運用できれば、多くの経営的メリットが得られるとされている。近年では東京湾内においても、P/B によるコンテナフィーダー輸送が実施されており、CO<sub>2</sub> 排出削減、交通渋滞緩和、トラックドライバー不足の解消に効果を上げている。こうしたモダリティシフトの観点から、今後も内航海運の担い手としての潜在的なニーズは高い。一方、国外に目を向けると、特に多くの島嶼群から成り、高い海運需要の伸びが見込まれる東南アジア地域は、近い将来の有力な候補地と思われる。域内輸送であれば数日間の航行で済む事から、航海に占める荷役時間は相対的に長くなる。ここに荷役待ちが不要な P/B の大きな導入ポテンシャルがあると考えられる。

以上の国内外の事情を鑑みる時、将来においても、海を走る航洋型 P/B の需要と活躍を期待できる。一方、現在主流の縦揺れを許容する 2 点支持型の連結方式の場合、縦揺れ時のプッシャー船首とバージ船尾の衝突を避ける為に、両者の間に僅かな間隙を設ける必要があり、この不連続部は抵抗減とされてきた。今後、海運事業において専用貨物船に対する競争力を高めていく上で、2 点支持型 P/B の抵抗低減は課題の一つといえる。加えてプッシャーとバージを切り離す機構上、バージの荷重状態が変化すると、バージの喫水のみが変化し、両船体間には段差が生じる。満載状態であれば、プッシャーの喫水よりもバージの方が深く、バージ軽荷に伴うバラスト状態では、その逆となり大きな段差が現われる。この事実は、抵抗性能をはじめ、P/B の諸性能に及ぼす荷重影響が、一般商船とは異なるユニークな特徴になる可能性を示唆しているが、系統的に調査された例は見当たらない。そこで本研究では、海を走る航洋型 P/B を対象に、荷重影響をキーワードに種々の性能評価を行い、とりわけ課題とされる抵抗性能の改善を中心に取り組んだ。（参考：山口琢磨：P/B について、P/B に関する WS、東広島、2013）

### 2. 研究の目的

従来、海を走る航洋型 P/B は、船体連結という機構上、耐航性能（波浪動揺）に焦点を当てた研究が主に行われてきた。しかし背景で述べた通り、バージの荷重状態による連結部の段差の発生/消失は、P/B の前方/側方投影面積を大きく変える事からも、諸性能に及ぼす影響は大きいと考えられ、その観点からの検討が必要である。また耐航性能とは対照的に、航洋型 P/B の推進性能（抵抗・自航性能）に関する研究報告は希少と思われ、バージ荷重状態に応じて変化する流場（流速場・圧力場）に関連付けて詳細に検討した例は見当たらない。本研究では、航洋型 P/B を対象に種々の性能評価、とりわけ課題とされる抵抗性能の改善に取り組んだ。以下、研究項目毎に目的と概要を記す。

- (1) 抵抗性能の解明： 現在主流である 2 点支持型 P/B の縮尺模型を用いて平水中水槽試験を実施し、バージ荷重状態に応じて、抵抗性能がどのように変化するかを明らかとする。同時に CFD (RANS) 計算により船体周囲の流場構造を観察し、特に連結部付近を覆うバージからの後流（伴流）が荷重状態に応じて変化する様子、その後流がプッシャー周囲の流場に及ぼす影響について明らかとする。
- (2) 抵抗低減案の検討と実証： プッシャーとバージの 2 物体が縦列に並んで走る航走形態では、プッシャーがバージ直後の強い後流域を走る事になる為、近接車間距離での隊列走行時の省エネ効果と同じ理屈が当てはまる素地があると考えられる。そこでバージ後流からより大きな利得を得る事を旨として、①バージへの初期トリムの付与、②バージ船尾形状の改良を試みて、抵抗低減の可能性を検討する。
- (3) 自航性能の解明： 航洋型 P/B の自航性能を CFD 計算により検討する。バージの形状、バージの荷重・トリム状態ごとに自航要素や各種効率を算定し、実船スケール換算の機関出力を評価する。特に航走状態に応じた定性的な変化を明らかとし、機関出力の観点から、各荷重状態での適切なトリムについて考察する。またプロペラ作動円に流れ込む流路を可視化する事で、機関出力が変化するメカニズムを明らかとする。
- (4) 耐航性能の評価： プッシャーの相対動揺を許容した 2 点支持連結状態で、航洋型 P/B の耐航性能を評価する。正面向波における規則波中試験を通じて、プッシャー、バージ個々の船体動揺ならびに P/B の波浪中抵抗増加量、それらに及ぼすバージの形状、荷重・トリムの影響を明らかとする。またストリップ法をベースに P/B の波浪中船体運動計算法を構築し、その推定精度を検証すると共に、連結部に働く荷重を明らかとする。

### 3. 研究の方法

本研究では、まず現行の一般的な航洋型 P/B の仕様を調査・検討し、水線長 3.54m の縮尺模型を製作した。その際、プッシャーをはめ込むバージ船尾のノッチ部寸法、2 点連結治具位置、許容相対ピッチング角およびそれを可能とする連結部の取り合い等、P/B の特徴的な設計パラ

メータを考慮に入れて検討を行った。なおバージは、Ord. 3-1/2 で分割できる 2 分割模型として製作し、研究項目 (2) で新規に製作するバージの改良船尾部を付け替えられるような構造とした (それぞれ原型 P/B, 改良 P/B と呼称する)。図 1 には、プッシャーとバージの模型船とバージ船尾部を拡大した写真を示す。以下、研究項目に対応させて研究方法について述べる。

- (1) 抵抗性能の解明： 原型 P/B を対象に、広島大学曳航水槽 (100m×8m×3.5m) において抵抗試験を行う。満載とバラスト (58%の喫水に設定) を含む複数のバージ載荷状態を設定し、設計船速  $F_n=0.17$  を中心に幅広い船速域で試験を行う。計測結果は 3 次元外挿法に基づき解析し、載荷状態ごとに各抵抗成分データを収集する。またオープンソース CFD 「OpenFOAM」を活用して、有限体積法に基づく非圧縮性・乱流の定常計算を行い、流場の評価を行う。
- (2) 抵抗低減案の検討と実証： ①バージへの初期トリムの付与では、船首トリムから船尾トリムまで、抵抗性能に及ぼすトリム影響を系統的に調査する。CFD 計算による流場の可視化を通じて抵抗低減のメカニズムを考察し、水槽試験によりその効果の程を実証する。また ②バージの船尾形状改良では、船尾船底スロープの曲率や始点、ノッチ深さや連結間隙など、種々の設計パラメータを変更した形状ファイルを作成し、CFD 計算により、原型 P/B に対して全抵抗低減を可能とするバージ船尾形状を検討する。最終的に改良船尾部の模型を製作し、改良 P/B として曳航水槽で抵抗試験を行い、改良効果を検討する。
- (3) 自航性能の解明： 原型と改良、満載とバラスト状態について、それぞれ 4 パターン (等喫水を含む) の初期トリムを付与した航走状態を対象に、CFD 計算 (無限翼数の簡易プロペラモデルを使用) により自航要素を推定し、実船換算の機関出力の評価を行う。ここで計算負荷の観点から自由表面は解かず、摩擦修正量に水槽試験時の造波抵抗を控除した値を曳航力として付与して、自航点を探索させる方法で計算を実施するものとする。
- (4) 耐航性能の解明： 本学曳航水槽において、原型と改良 P/B を対象に、正面向波における規則波中試験を実施する。波高は 30mm と 50mm, 波長船長比は 0.50 から 2.00 迄とし、満載とバラスト、加えて各載荷状態に船尾トリムを付与した状態 (原型のみ) の試験も行う。そしてプッシャーとバージ個々の上下揺れと縦揺れ、および前後揺れを計測し、波浪中の抵抗値も計測する。また連結位置の上下と前後方向変位の力学的連続条件を課したストリップ理論ベースの計算法を構築し、水槽試験結果と比較を通じてその有用性を検討する。

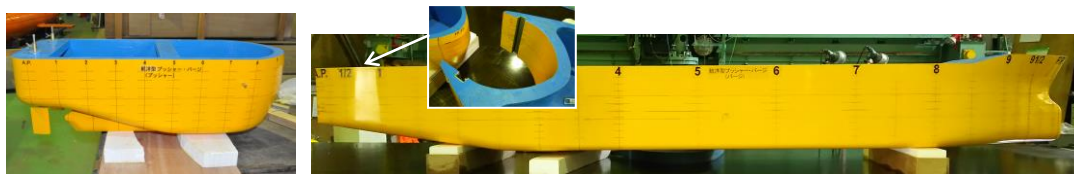


図 1 プッシャーとバージの模型および原型バージの船尾部の拡大写真

#### 4. 研究成果

##### (1) 抵抗性能の解明：

原型 P/B の抵抗試験の様子を図 2 (左図：満載、右図：バラスト) に示す。載荷状態が軽くなるとバージの喫水がプッシャーよりも浅くなり、連結部には段差を生じる。側面イラストからも、没水部の形状が大きく異なる様子が見て取れる。

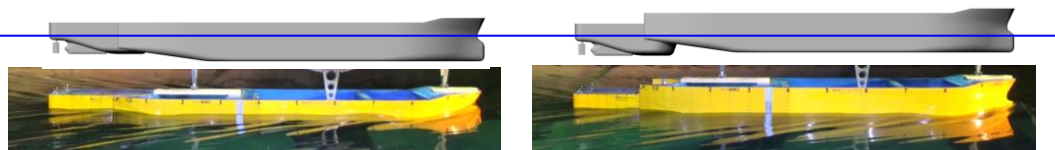


図 2 原型 P/B 模型による平水中抵抗試験の様子 (左：満載状態, 右：バラスト状態)

設計船速  $F_n=0.17$  における原型 P/B の抵抗値を 3 次元外挿法で解析し、各抵抗成分を積み立てた結果 (Original) を図 3 に示す。同図には、研究項目 (2) の初期トリム、改良 P/B (Modified) に関する解析結果も掲載した。等喫水 (横軸  $0^\circ$ ) に着目すると、バラスト状態は満載状態の約 6 割の排水量しかないにもかかわらず、両者の全抵抗値の差は小さい。背景に浸水面積の減少に伴う摩擦抵抗の減少を、主に粘性圧力抵抗の増加で相殺している事が分かる。両抵抗成分の比率 (形状影響係数) は、バラスト状態において 4 割超の増加となった。

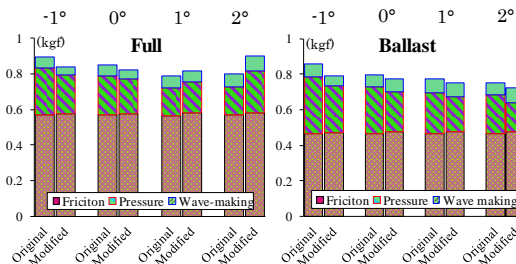


図 3 曳航水槽における抵抗試験の解析結果

粘性抵抗の組成に焦点を当て、 $F_n=0.1$  の CFD 計算結果に基づき考察を行った。プッシャーとバージの各船体に作用する両抵抗成分の内訳を図 4 に、原型 P/B の連結部の流速場と圧力場を図 5 に示す。満載時にはプッシャー船首部がバージの後流域に晒される一方、バラスト時には主流が直接プッシャーの船首部に当たり、強い正圧域が見られる。この為、同じ P/B でありながら、載荷状態に応じて各船体に作用する抵抗組成は大きく異なる様子がうかがえる。



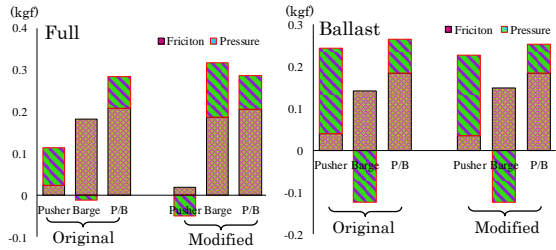


図4 各部位に働く粘性抵抗の内訳 (CFD 結果)

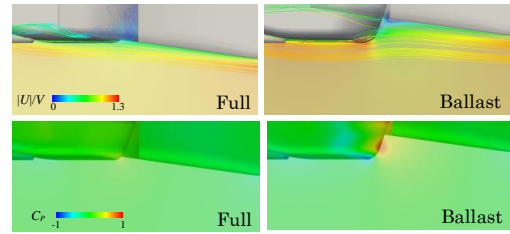


図5 原型 P/B の連結部の流速場(上)と圧力場(下)

(2) 抵抗低減案の検討と実証：

① 初期トリムの付与： 連結部の不連続部が抵抗源である事を踏まえ、バージに初期トリムを付与する事で連結部の段差を緩和し、全抵抗低減を図れる可能性を検討した。プッシャーとバージの喫水差により、载荷状態に応じた最適なトリム角は異なるが、既出の図3より、船尾トリム(船尾を沈める姿勢)を付与する事は粘性圧力抵抗の低減に有効な事が分かる。バラストを調整できればバージの载荷状態に応じて柔軟に対処できる事から、運用上の利便性はあると思われる。

② バージ船尾形状の改良： バラスト状態では、連結部の正圧によりプッシャーが主要な抵抗源となる。そこでバージ船尾を適度に太らせて後流を増やし、連結部の正圧域を弱める事を考える。その場合、バージが P/B の主要な抵抗源となる満載状態の抵抗性能の悪化が危惧されるが、それ以上にバージ後流域を走るプッシャーの抵抗を低減できれば、なお有意な利幅が得られると期待できる。CFD 計算ベースの検討を重ね、最終的にバージの船尾船底に緩やかな曲率もつラウンド形状(図6)を採用した。満載時のバージ単体の浸水面積は原型より約3%増加し、排水量も実船相当 500t 弱の増加となる。満載とバラスト状態の連結部の流速場を図7に示す。



図6 原型と改良バージの側面スケッチ

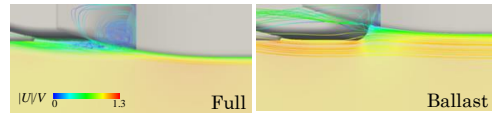


図7 改良 P/B の連結部の流速場の様子

改良 P/B の抵抗試験の解析結果を図3の“Modified”に示すが、等喫水状態を比較すると、両载荷状態共に改良 P/B の方が低い全抵抗値が得られている。改良 P/B は、浸水面積の増加に伴う摩擦抵抗の増加、バラスト状態では更に造波抵抗の増加もあるが、今回の模型試験では、粘性抵抗圧力低減の利幅が勝り、両载荷状態でバージ改良の効果が見られた。またバージに若干の船尾トリムを付与する事は、依然として全抵抗の低減に有効であるといえる。しかし効果の程度は、载荷状態やバージ船尾形状、更には後述するスケールの影響を受ける点は留意する必要がある。

③ 実船換算の有効馬力： 設計船速における実船換算の有効馬力(EHP)を図8に示す。原型 P/B は等喫水(0°)で航行するよりも、満載状態で1°、バラスト状態で2°の船尾トリムを付与する事で、より少ない有効馬力で航走可能な事がうかがえる。

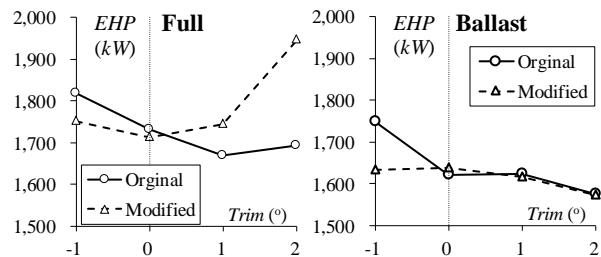


図8 実船の推算有効馬力  
(初期トリムと改良バージの効果の検証)

改良 P/B の等喫水の結果に着目すると、満載状態であれば原型 P/B に対して小さな有効馬力となり優位性を持つが、バラスト状態では、その大小関係が逆転している。実船では、レイノルズ数の低下により全抵抗に占める粘性抵抗の割合が減少する為、バラスト状態において模型スケールの改良バージが有していた粘性抵抗に関する利幅が減った事が理由に挙げられる。但し、船尾トリムを与えて運航させる状況であれば、改良 P/B の方が僅かではあるが小さな有効馬力を示す。いずれにしても排水量が実船相当で約 500t 増加する事を鑑みると、原型 P/B と同程度の有効馬力で、より多くの貨物を輸送できるという見方は可能と思われ、改良バージの一定の有用性は認められる。

(3) 自航性能の解明：

原型と改良 P/B の自航性能について、CFD 計算結果に基づき基礎的な検討を行った。プッシャーに対する2基のプロペラの設置状況を図9に示す。また実船換算した機関出力(BHP)を初期トリムに対して図10に示す。まず満載状態の等喫水時に着目すると、改良 P/B は原型 P/B よりも機関出力の増加が見られた。またバージへの1°程度の船尾トリムの付与は、両 P/B の機関出力の低減に効果的であり、その利得は原型 P/B において大きい事がうかがえる。一方、バラスト状態では傾向が異なり、改良 P/B の機関出力は等喫水時に原型 P/B よりも微減し、船尾トリムの効果もまた、一貫してより有効に作用する事が分かる。

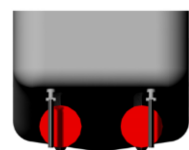


図9 プロペラ配置図

前項目の実船有効馬力の結果と合わせて考えると、原型P/Bのバージに対する若干の船尾トリムの付与は、抵抗・自航両性能の改善に効果が認められるが、満載時の大きな船尾トリムは有意に作用しない恐れがある。効果の程度やトリム角の閾値は、プッシャーとバージの連結部付近の船底高低差や船体形状の連続性に依るところが大きく、繊細に変化する為には注意が必要となる。同様の観点から、バージの船尾形状を変更した改良P/Bの優位性は、载荷状態に応じて一長一短があり、評価を結論づける事が難しい面があった。トリム影響は、原型P/Bと定性的には類似の傾向を示すが、定量的な効果は異なる。この為、プッシャーとバージの形状の組み合わせ、载荷状態に応じて、初期トリムを柔軟に調整した運航をする事が必要といえる。

流場の観点から機関出力の優劣の背景を考察すると、満載状態では、改良P/Bにおいて有効伴流係数が増大(図11参照)しており、船殻効率、推進効率の悪化を招いた事が分かる。プロペラ作動円へ流れ込む流線を図12に示すが、改良バージのビルジ曲率は小さく、バージ船底と側壁からの流れが分離され易い形状であった為に、ビルジ渦が小さくなり、自航要素の悪化要因になったと解釈できる。これはバトックフロー船尾の問題と同様であり、検討の余地がある。一方、バラスト状態では伴流係数の大小関係が逆転し、改良P/Bにおいてより小さい。また船尾トリムの付与が、伴流係数の減少、延いては推進効率の改善を通じて機関出力の減少に寄与する事がうかがえる。図13に示す改良P/Bの船尾トリム2°の流場に注目すると、主流が斜めのバージ船底に当たり、側壁へ逸れた遅い流れがバージ船尾端で剥がれて作動円へ流入する流路を確認できる。同じトリム状態の原型P/Bでは、大きな船尾ビルジがその流路を障害したと思われ、同じ流れがプロペラ面位置には到達していない。こうした流場構造の違いが、バラスト状態であれば、船尾トリム付き改良P/Bの自航性能に優位性をもたらしたと言える。

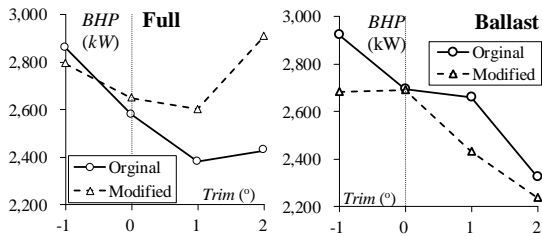


図10 実船の推定機関出力

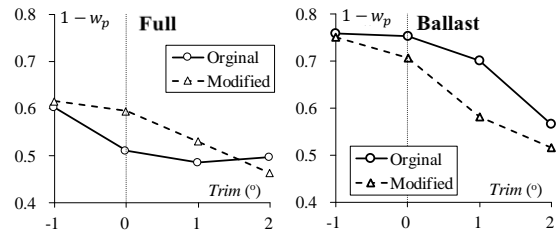


図11 実船の推定有効伴流係数(プロペラ位置)

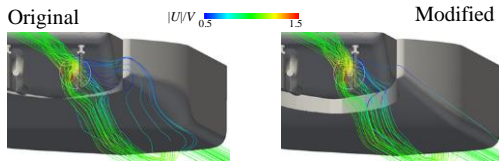


図12 プロペラ作動円を通過する流線(満載, 等喫水)

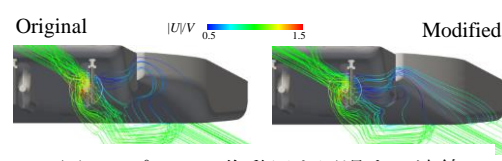


図13 プロペラ作動円を通過する流線(バラスト, 船尾トリム2°)

#### (4) 耐航性能の解明:

① 規則波中の動揺特性の評価: バージの载荷影響に着眼し、正面向波中で動揺試験を行った(図14)。一例として図15には、満載とバラスト状態の原型P/Bにおけるバージ側の上下揺れと縦揺れの解析結果を波長船長比(船長はP/Bの値)に対して示す。

満載状態のバージの上下揺れ、縦揺れ振幅は、波長が船長を超える(横軸1以上)と増大し、バージ単体の固有周期に相当する波長域でピークが鮮明に現われている。対してバラスト状態のバージのピーク振幅は小さく、それ以降の長波長域における振幅変化も小さい。载荷影響は長波長域において顕著といえる。但し、同傾向は原型バージ単体の結果(割愛)を踏襲しており、バージの動揺特性に及ぼすプッシャーの連結影響は小さかった。一方、図16には、プッシャーとバージの縦揺れ振幅の解析結果を载荷状態ごとに示す。全波長域においてプッシャーの動揺振幅は、総じてバージよりも大きい。また満載状態のプッシャーの結果のみ、2つのピーク振幅が現われる点は特徴的といえる。それぞれプッシャーとバージの各縦揺れ固有周期に近い波長域で生じており、後者は排水量差が大きなバージによる強制動揺の結果と思われる。バージの载荷状態に応じて短波長側のピークが出現/消失する特徴と合わせて、これらはP/Bが有するユニークな動揺特性といえる。

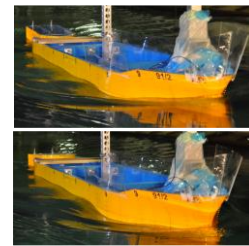


図14 波浪中試験の様子

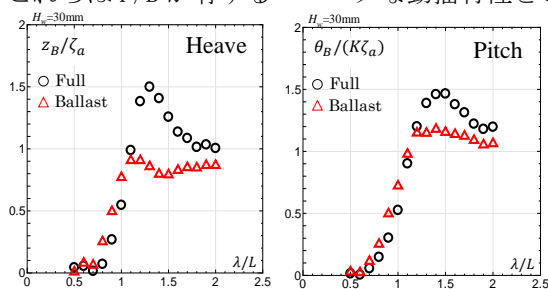


図15 満載とバラスト状態のバージの動揺振幅

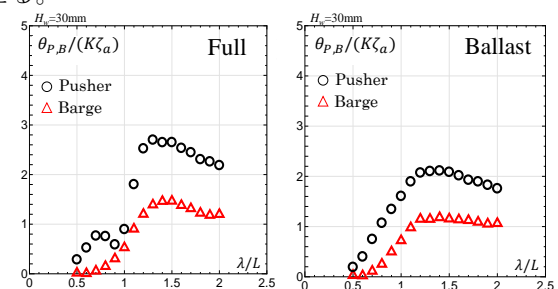


図16 プッシャーとバージの縦揺れ振幅

② 波浪中抵抗増加に及ぼすトリム影響：P/Bの抵抗低減に船尾トリムが有効である事は前述の通りである。一般商船（バラスト）において、トリム付きの方が波浪中抵抗増加のピーク値が減少するとの報告例（一ノ瀬等，2010）もある事から、同様の効果について検証した。図17には、満載状態の原型P/Bについて、等喫水ならびに船尾トリム1°を付与した時の抵抗増加係数を示す。トリム付きでは短波長域からピーク波長にかけて大きな増加係数となり、長波長域では同程度、もしくはより小さな値となる。この大小関係は、波長の変化に伴うバージの縦運動の大きさと相関が見られた。一方、バラスト状態（割愛）では、全波長域において両者の差は小さく、载荷状態に応じてトリム影響の現れ方が異なる事が分かった。

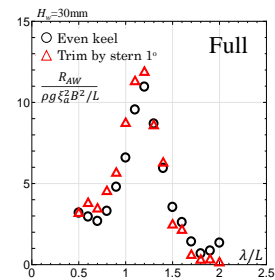


図17 波浪中抵抗増加係数

③ P/Bの波浪中船体運動計算法の構築：プッシャーとバージは形状寸法や排水量差が大きく、固有動揺周期は異なる。プッシャーの船体動揺がバージ動揺に与える影響は小さいと思われ、逆にバージ動揺時のプッシャーは強制動揺の側面が強い。この観点から、両者の動揺に伴う流体力学的な干渉は支配的ではないと仮定し、簡易的ではあるが、連結部の上下と前後方向変位の力学的連続条件を課したストリップ理論ベースの計算法を構築した。しかし試験結果と比較したところ、定量的な推定精度には課題を残した。一例として図18には、満載の原型P/Bのプッシャーの縦揺れ特性の推定結果（青線）を示すが、前述のP/B特有の2つのピークを再現できていない。理由として、2船体間の動揺干渉が未考慮な点以外に、満載バージからの強い伴流影響が挙げられる（図19）。プッシャーは船速よりも遅い流れの中で航走していると思われ、現実と計算間で入射波との出合周期に乖離があったからと考察される。図18において、プッシャーへの流入速に適切な伴流係数を加味して計算すると（緑線、赤線）、短波長域にピークが現われてくる事からも、この点はプッシャーの波浪動揺の推定において留意すべき事項といえる。

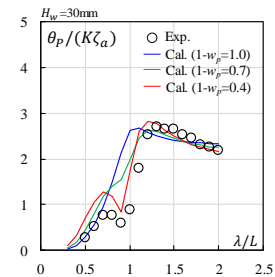


図18 プッシャーの縦揺れ振幅の推定

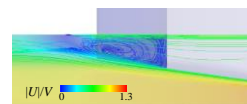


図19 満載バージ直後の流速場の様子

④ 連結流体力の議論：連結部に働く上下力振幅の計算結果（波高1.2m相当）を図20に示す。载荷状態に応じて、波長に伴う上下力の変化は異なっている。バラスト状態ではプッシャー動揺が大きな短波長域において、満載状態ではバージ動揺が大きな長波長域でピーク値を取る。貨物を積み込むにつれて、ピーク波長、ピーク上下力共に増加し、図上、右上に推移する事がうかがえる。最大上下力は、満載P/Bがバージの固有動揺周期に近い向波と出合う時に生じる結果となった。

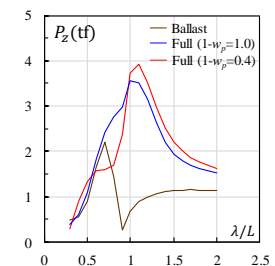


図20 連結流体力（計算値）

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ① M. Sano, Y. Kawano, T. Yamamoto, H. Yasukawa, Numerical Analysis of Resistance Acting on Sea-Going Pusher and Barge System, Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace -Science and Engineering-, Vol. 49, pp. 1-7, 2017. 査読無。  
※同名の国際会議（学会発表④）からの出版。

〔学会発表〕（計 4 件）

- ① 山本拓人, 佐野将昭, 安川宏紀, 航洋型プッシャー・バージの抵抗・自航性能に関する基礎研究, 2019年日本船舶海洋工学会春季講演会, 2019. 6. 3-4, 長崎。【発表確定】
- ② M. Sano, T. Yamamoto, H. Yasukawa, Resistance Characteristic of a Pusher and Barge System under Different Barge Load Conditions, Workshop on Environmental Technologies in Naval Architecture and Ocean Engineering, 2018. 11. 8-9, Higashi-Hiroshima. (Workshop Proc. : pp. 95-98)
- ③ 山本拓人, 佐野将昭, 池下翔哉, 川野佑典, 安川宏紀, 航洋型プッシャー・バージの抵抗性能に及ぼすトリム影響に関する研究, 平成 30 年日本船舶海洋工学会春季講演会, 2018. 5. 21-22, 大阪。（日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 26 号, pp. 569-573.）  
※講演者（山本拓人）が若手優秀講演賞を受賞。
- ④ M. Sano, Y. Kawano, T. Yamamoto, H. Yasukawa: Numerical Analysis of Resistance Acting on Sea-Going Pusher and Barge System, The 4th International Conference on Ocean, Mechanical and Aerospace -Scientists and Engineers- (OMase), 2017. 11. 6-7, Padang. (Abstract ID number: 001\_OMase2017)